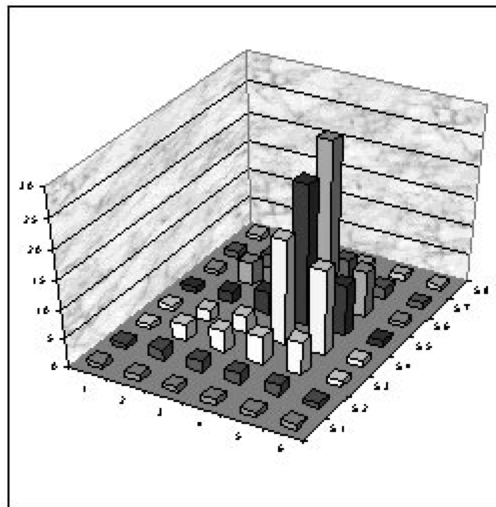
Captatori digitali

ISTORIC

In 1969, George Smith and Willard Boyle, cercetatori la Bell Laboratoryes, au pus bazele teoretice ale CCD-ului, pe care l-au realizat practic in 1970, iar in 1975 era suficient de "bun" pentru a putea transmite imagini cu rezolutie TV.
Incepind cu 1983, CCD-urile au patruns si in astronomie, inlocuind din ce in ce mai mult placile fotografice in fotografia astronomica.
Dezvoltarile teoretice, perfectionarea tehnologica si reducerea costurilor de productie a captorilor de imagine a permis intrarea agresiva pe piata bunurilor de consum.
Fotogragful din zilele noastre este asaltat de o oferta imensa de camere digitale, capabile sa produca rezultate din ce in ce mai bune, rezultate cu o calitate clamata de producatori a fi deseori mai buna decat a filmului de 35 mm. Si, pentru a cuceri o felie cat mai mare de piata, fiecare producator de camere digitale recurge la cele mai bine dotate captatoare de imagine.

PRINCIPII DE FUNCTIONARE

Captatorul de imagine este un circuit complex, format dintr-un numar de randuri si coloane de fotodiode ca o matrice; la intersectia fiecarei coloane cu un rand se afla un element receptor (fotosit). Fiecare fotosit va determina caracteristicile unui punct din imagine (picture element sau pixel). Considerente de ordin electric si mecanic determina ca intre doua fotosituri vecine sa existe un spatiu care nu este fotosensibil. Raportul dintre suprafata fotosensibila si suprafata totala poarta numele de factor de umplere si este, evident, subunitar. Cu cat suprafata unui fotosit este mai mica, cu arat sensibilitatea la lumina a captatorului este mai redusa, adica este nevoie de mai multa lumina pentru a obtine o imagine convenabila. Cu cat factorul de umplere este mai mare, cu atat "randamentul" este mai bun. Pentru a spori randamentul optic al captatorilor, unii producatori aseaza deasupra fiecarui fotosit cate o microlentila care concentreaza lumina pe elementul fotosensibil.
Fiecare receptor capteaza lumina incidenta si o transforma intr-un semnal electric. Semnalul furnizat de fiecare fotosit este apoi descarcat, prelucrat si cuantificat (digitizat) pe 256 sau mai multe nivele, in functie de modelul (pretentiile) aparatului; in acest fel, fiecare element al matricei va fi caracterizat de un anumit nivel de semnal.



SARCINI ELECTRICE (IPOTETICE) ALE UNEI PORTIUNI DINTR-UN CAPTATOR DIGITAL

Matricea si valorile continute va fi apoi descarcata pe mediul de stocare, sub forma unui fisier tip imagine (raw, tiff sau jpg).
In mare, cam acestea ar fi etapele esentiale ale transformarii imaginii reale, furnizate de obiectivul aparatului digital, intr-un fisier electronic de tip imagine. Fiecare mare etapa anterior descrisa presupune insa multiple procese (amplificare, interpolare, etc), dar care nu ne intereseaza pentru acest moment.

DIMENSIUNILE FOTOSITULUI - AVANTAJE SI DEZAVANTAJE
Desigur, un numar mai mare de pixeli este mai bine, dar aceasta nu spune totul! Dimensiunea unui pixel este, de asemenea, un factor important.
Pixelii de mici dimensiuni ofera semnale electrice slabe (suprafata mica = energie captata mica), ceea ce duce la un raport semnal/zgomot mic. Pentru a "ascunde" acest fapt, producatorii utilizeaza diverse mecanisme de reducere a zgomotului, unele mergind pana la insumarea semnalelor a 4 fotosituri vecine pentru a calcula/realiza un pixel in imaginea finala! De asemenea, un raport semnal/zgomot redus determina o diminuare a intervalului de expunere (mai putini indici de expunere) ca si o reducere a sensibilitatii (ISO de valori mai mici). Aceste efecte devin foarte suparatoare la fotosituri de sub 4 x 4 microni.
Pe de alta parte, pixelii de dimensiuni mari sufera de aliasing (defecte ale imaginii care constau din aparitia unor linii alternativ luminoase si intunecoase, ca un efect Moire si care apar - aparent paradoxal - daca obiectivul este de buna calitate) Aliasingul apare daca obiectivul are o rezolutie superioara frecventei Nyquist proprii captorului (care se calculeaza dupa formula N = 1/{2 * distanta dintre doi pixeli vecini}).
Pentru combaterea aliasingului se folosesc filtre anti-aliasing care "blureaza" imaginea si reduc rezolutia.
Pixelii de mici dimensiuni impun utilizarea uni sistem optic ce se apropie periculos de nivelul de difractie. Pentru formatul 35 mm argentic, difractia

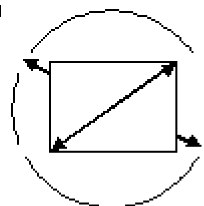
devine sesizabila la f/16; cu cat diagonala senzorului este mai mica, cu atat difractia apare la valori mai mari ale deschiderii diafragmei, de ex. pentru diagonala de 22 mm difractia este sesizabila inca de la f/11; reamintim ca difractia depinde de raportul dintre lungimea de unda a luminii si diametrul orificiului traversat si nu de valoarea abstracta a diafragmei. Pentru diafragme mari, apar insa aberatiile determinate de imperfectiunea sistemului optic, mai pronuntate la periferia lentilelor componente ale obiectivului, asa incat, pentru dimensiuni mici ale captatorului, exista un interval foarte restrans de diafragme!
Captatorii de dimensiuni mai mari costa mai mult! Captatorii se obtin pe waffer-e, un waffer oferind spatiu pentru mai multi captatori, cu atat mai multi cu cat sunt mai mici. Deoarece procesul de fabricatie este insotit de erori, unele captatoare sunt respinse de controlul de calitate si una este sa arunci 1 la o suta, cu totul altceva 1 din10!
In aceasta etapa tehnologica, dimensiunea optima a unui fotosit este intre 5 si 9 microni. Aceste valori sunt utilizate si la camerele avansate, de tip Canon D60 sau Nikon D100. Pastrind dimensiunile fotositului, o camera cu un captator de 24 x 36 mm (full frame) ar avea circa 16 Megapixeli.

DIMENSIUNILE CAPTATORILOR DIGITALI
Rareori specificatiile camerelor digitale arata dimensiunea in unitati europene a captorului. Totdeauna insa exista un parametru destul de criptic: un raport masurat in inchi, de felul: 1/3" sau 1/2" Acest parametru este o "reminiscenta" istorica si se datoreaza modului in care erau clasificate tuburile video-captoare TV in anii `50, si anume dupa diametrul exterior al invelisului de sticla al videocaptorului! Captatorul din respectivul tub nu putea avea aceeasi diagnonala cu diametrul exterior al tubului ci mai mica, de aproximativ doua treimi.

Diametrul exterior tubului videocaptor (2/3 inchi)

Diagonala captatorului (11 mm)

Dimensiunile in mm (8,8 * 6,6 mm)



COTELE PRINCIPALE ALE CAPTATORILOR

Iata mai jos diametrul in inchi si in mm. al "tubului videocaptor" (tip) si dimensiunile in mm. ale senzorului camerei digitale. In ultimul rand au fost date, pentru comparatie, dimensiunile unui negativ argentic pe film de 35 mm.

TIPUL SI DIMENSIUNILE CAPTATORILOR DIGITALI

Tip (inchi)	Tip (mm)	Diagnonala	Latime	Inaltime

1/3,6"	7	5,0	4,0	3,0
1/3,2"	7,9	5,6	4,5	3,4
1/3"	8,5	6,0	4,8	3,6
1/2,7"	9,4	6,6	5,3	3,9
1/2"	12,7	8,0	6,4	4,8
1/1,8"	14,1	8,9	7,1	5,3
2/3"	16,9	11,0	8,8	6,6
1"	25,4	16,0	12,8	9,6
4/3"	33,8	22,5	18,0	13,5
35 mm	-	43,3	36,0	24,0

Aceste dimensiuni influenteaza distanta focala a obiectivului asezat in fata captatorului, pentru a putea reproduce obiectele fotografiate la o scara "normala"; daca imaginea unui obiectiv normal, de 50 mm, s-ar proiecta pe captatoare de diferite dimensiuni, s-ar obtine urmatoarele decupaje:



FACTORUL DE MULTIPLICARE LA CAMERELE DIGITALE FATA DE O CAMERA FOTOGRAFICA ARGENTICA PENTRU UN OBIECTIV f = 50 mm

Daca in planul focal al unui obiectiv cu f = 50 mm am putea aseza diversi captatori digitali, am obtine "feli" mai mari sau mai mici din imagine. In centru este figurata imaginea obtinuta pe un captator de 2/3 inch, apoi una de pe un captator de 1 inch si apoi una de pe un captator de 4/3 inch, comparativ cu imaginea obtinuta pe un film de 35 mm (24 x 36 mm). Din acest motiv, distanta focala a aparatelor digitale este adaptata dimensiunii captatorului.

Intre lungimea si latimea captatorulu digital se stabileste un raport care este, la majoritatea celor moderne 1,333 (de ex.: 2560/1920 pentru cele de 5 MPixeli). Intre formatul captatorilor si alte formate exista unele

diferente, ilustrate in tabelul de mai jos.

PROPORTIA LATURILOR CATORVA FORMATE	MODEL DIMENSIUNI	RAPORT
Minolta Dimage 7	2560 x 1920	1,333
Olympus C-2	1600 x 1200	1,333
Nikon D1	2000 x 1324	1,510
Monitor calculator	1024 x 768 sau 800 x 600	1,333
Film 35 mm	36 mm x 24 mm	1,5
Hartie fotografia	4 x 6 inchi	1,5

Consecinta acestui raport este ca, la imprimare pe hartie foto, imaginea nu se incadreaza perfect in formatul hartiei.
De exemplu, o imagine digitala ca cea de mai jos, are raportul intre laturi de 1,33



La impimarea pe hartie fotografica, cu raportul intre laturi de 1,5, utilizatorul fie ca va taia una dintre margini:



Sau, daca doreste sa imprime intregul fisier, va obtine o margine alba:



In legatura cu dimensiunile laturilor CCD-ului (pozei), ar fi de mentionat un aspect important: daca numarul de pixeli le lungime si pe latime sunt multiplii de 8, imaginea poate fi rotita dupa fotografiere din lat pe inalt, sau invers, in format .jpg, fara pierdere de calitate.

ADANCIMEA DE CULOARE

In functie de numarul de nuante reprodus pentru fiecare pixel, o imagine se poate caracteriza printr-un parametru numit "adancime de culoare". Intrucat ochiul uman poate distinge cca. 15 milioane nuante de culori, reproducerea culorilor pe monitoarele calculatoarelor si in fotografia

digitala trebuie sa tina seama de acest parametru.
Monitoale de tip VGA sunt capabile sa reproduca 256 nuante de culori, in schimb, monitoarele moderne (ca si placile video sau aparatele digitale de fotografiat) reproduc peste 16 milioane nuante (reproducere True Color).

ADANCIMEA DE CULOARE

Tip	Biti pe pixel	Formula	Numar de nuante
Alb-negru	1	2^1	2
VGA	8	2^8	256
Hi-color	16	2^16	65000
True color	24	2^24	16 milioane

Deoarece culorile de baza sunt rosu (R), verde (green - G) si albastru (blue - B), pentru fiecare dintre ele, o reproducere pe 8 biti va determina: 8 + 8 + 8 = 24 biti/pixel, adica suficient pentru aplicatiile uzuale. Aparate fotografice digitale cu "pretentii" reproduc 10 sau chiar 12 biti/culoare, producind pana la 4096 nuante pentru fiecare culoare de baza, in total pana la peste 68 milioane (2^30 sau 2^36) de nuante de culori.

SENSIBILITATEA ISO A CAPTATORILOR
Sensibilitatea captatorilor digitali este similara cu a filmelor argentice si este stabilita de Organizatia Internationala pentru Standardizare (ISO = International Organization for Standardization).
Captatoarele digitale au o sensiblitate la lumina, in general echivalenta cu filmele argentice cotate intre 60 si 100 ISO. Pentru a obtine fotografii in conditii de iluminare mai redusa, utilizatorul poate "spori" sensibilitatea care, de fapt, se produce prin interventia unor circuite de amplificare a semnalului transmis de captatorul digital. Din pacate, o data cu semnalul util este amplificat si zgomotul, desi majoritatea producatorilor pretind ca folosesc algoritmi complecsi si performanti si care produc rezultate foarte bune. Indiferent de model insa, cu cat sensibilitatea captatorului este mai mare, cu atat intervalul dinamic al pozei este mai redus.

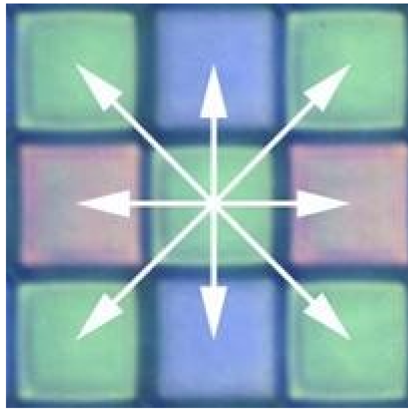
MODELE COMERCIALE
In prezent, lupta pentru aparatele digitale se duce intre trei tipuri de senzori: CCD, CMOS si Foveon3x.

CCD
CCD vine de la Charge Coupled Device si reprezinta modul in care se face citirea pixelilor dupa expunerea la lumina: pe primul rand de pe latura lunga a circuitului se afla un rand de elemente care nu sunt expuse la lumina - sa le spunem "de deservire" -, un registru de citire; datele din primul rand de celule expuse este transferat in registru si apoi datele sunt transmise pentru interpretare; randul citit este sters si este apoi transferata informatia din randul urmator, care este si ea golita in

registru, s.a.m.d. Am putea spune prin urmare, ca informatia este citita prin "cuplarea" pe randuri, iar fiecare rand este "cuplat" cu cel de deasupra.
Descarcarea se face progresiv, de la un rand la altul (primul rand, apoi al doilea, apoi al treilea...) sau intretesut (intai randurile impare si apoi randurile impare). Modul progresiv este utilizat de majoritatea camerelor digitale, in timp ce modul intretesut (interlaced) este folosit mai ales in televiziune.
Acest tip de semiconductor are o buna sensibilitate atat in lumini cat si in umbre dar este mai scump de produs deoarece este utilizat doar in domeniul imaginii digitale.

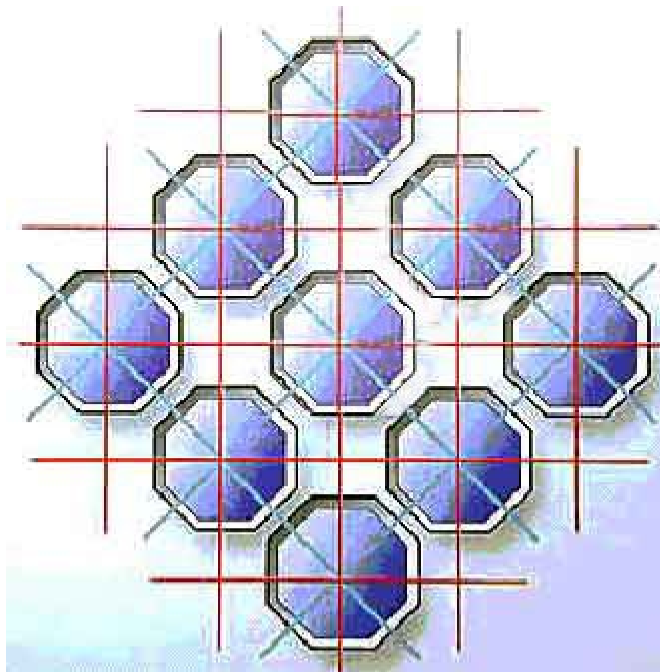
CMOS
CMOS este acronimul de la Complementary Metal Oxide Semiconductor si este un tip de circuit electronic utilizat larg in industria computerelor (procesoare si memorii) si, din aceasta cauza, productia este mult mai ieftina. Primele captatoare introduse pe piata erau grevate de un zgomot mare de fond (cu consecinta: detalii reduse in umbre) dar progrese recente au facut ca si acest tip de circuit sa-si amplifice performantele (Canon D60 utilizeaza un captator tip CMOS)

Pana acum am vazut cum se transforma semnalul luminos oferit de obiectiv, in semnal electric si cum acesta este cuantificat in 256 sau mai multe niveluri (prin intermediul unui convertor analogic - digital). Dar culoarea? Cum este determinata si stabilta culoarea?
Pentru a putea capta si informatiile despre culoare, cele doua tipuri de captatoare aratate mai sus sacrifica un pic din calitatea finala a imaginii prin interpunerea intre obiectiv si captator a unor filtre colorate in rosu (Red = R), verde (Green = G) si albastru (Blue = B), sau, pe scurt: RGB, dispuse in forma de mozaic. Exista si alte tipuri de filtre dar cu o utilizare mult mai restransa decat RGB. Si, deoarece ochiul uman este mult mai sensibil la culoarea verde, Bayer a propus urmatorul raport de frecventa : 2 verzi, 1 rosu si 1 albastru (2:1:1), raport adoptat de aproape toti producatorii. Dupa descarcare, fiecare pixel contine informatii despre luminanta ca si despre intensitatea culorii rosu, verde sau albastru, in functie de filtrul acoperitor. Pentru a obtine si restul de informatie de crominanta, urmeaza o etapa de interpolare a informatiilor de crominanta cu pixelii din vecinatate (de-mozaicare), deoarece captatorul ofera doar 50% din informatia pe culoarea verde, 25% din cea albastra si 25% din cea rosie.



MODELUL MOZAIC BAYER (RGB) SI MODUL DE INTERPOARE

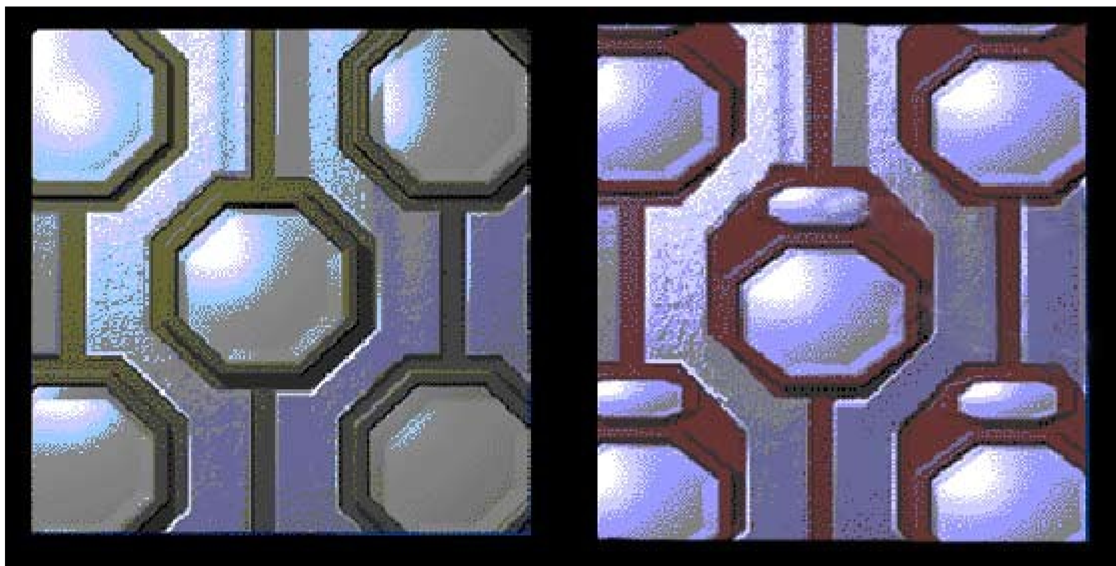
Fuji lanseaza in 1999 un nou tip de captor, in esenta tot CCD dar, prin modificarea dispunerii fotositurilor obtine un factor de umplere mai bun, si il boteaza "Super CCD". Fotositurile sunt de forma octogonala iar dispunerea lor se face mai compact, asemanator celelor fagurilor de albine.



CAPTATORUL SUPERCCD FUJI

Producatorul pretinde ca obtine o crestere a sensibilitatii, prin cresterea factorului de umplere, un raport semnal/zgomot mai bun, un interval dinamic superior si o redare mai buna a culorilor. Cresterea gradului de impachetare permite pixeli mai mari sau/si o rezolutie mai mare. Fuji sustine ca pe un circuit cu diagonala de 1/2 inchi, intra aprox. 2 milioane de fotosituri, care sunt cu 60 % mai mari decat cele de la un CCD obisnuit si ca imaginea obtinuta pe acest captator va fi echivalenta cu una de pe un CCD conventional de 3 MPixeli.

O perfectionare a celei de-a treia generatii a Super CCD este "botezata" de Fuji: "High Resolution" si pe care arata ca obtine o calitate ridicata de pe senzori de foarte mici dimensiuni, prin perfectionarea proiectarii si fabricarii senzorilor. Producatorul anunta doua modele: unul de 1/2,7 inchi, cu 3,1 milioane fotosituri si cu un fisier rezultat de 6 MP, si un al doilea, de 1/1,7 inchi cu 6 milioane fotosituri si cu un fisier rezultat de 12 MP.
Recent Fuji a anuntat un Super CCD de a patra generatie, botezat SR, si care este bazat pe modelul octogonal al Super CCD-ului deja prezentat; pentru fiecare fotosit "mare" si deci sensibil, adauga un al doilea, mai mic si, prin urmare, mai putin sensibil.

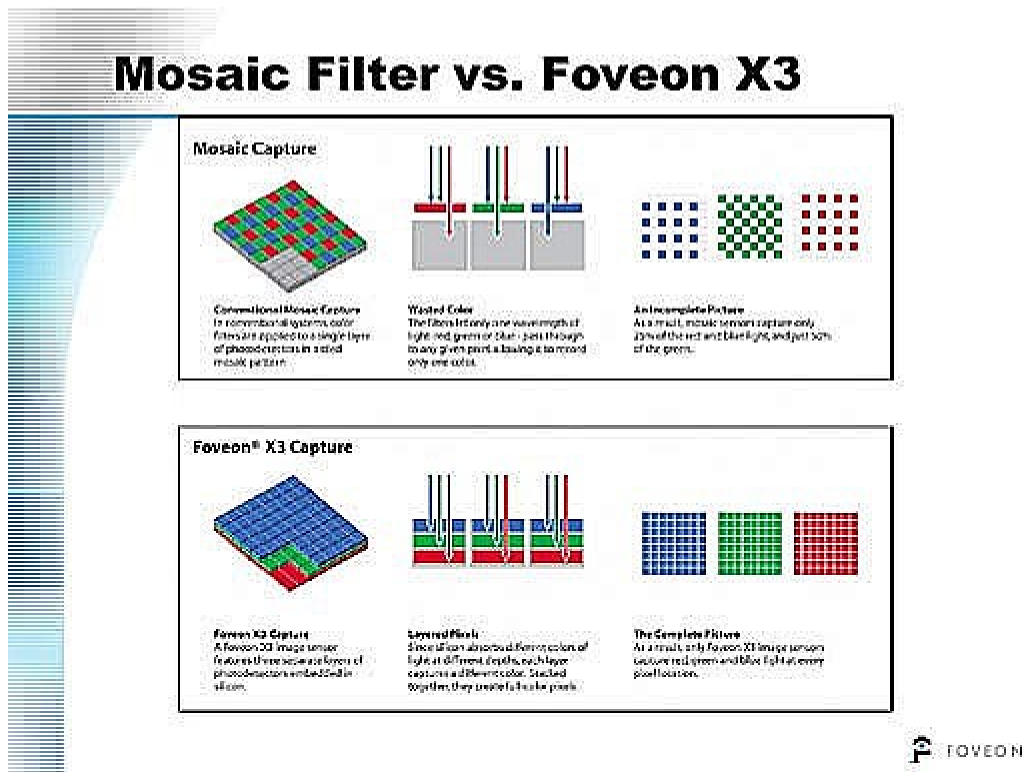


COMPARATIE CONSTRUCTIVA INTRE SUPER CCD SI SUPER CCD-SR

COMPARATIE INTRE SUPER-CCD SI SUPER-CCD-SR
Fotodioda de mari dimensiuni reproduce luminile de intensitate medie si mica (semitonuri si umbre), in timp ce fotodioda de mici dimensiuni, de aproximativ patru ori mai putin sensibila la lumina, reproduce detaliile din lumini, care altfel se perdeau in zone Ť arse ť ale imaginii. In acest fel, - sustine Fuji - se reproduce mai fidel o gama dinamica mai larga, mai ales partea cu lumini. Primele captatoare vor fi lansate probabil in primavara lui 2003 si vor avea 3,1 milioane fotosituri, cu 3,1 milioane fotodiode mari + 3,1 milioane fotodiode mici.

FOVEON x3
In 1999 se pantenteaza un nou tip de captor pentru imaginea digitala: Foveon x3, de catre un mic producator independent. Speculind faptul ca un captator uzual foloseste filtre de trecere de tip Bayer si ca in acest fel nu se utilizeaza decat o treime din lumina incidenta, Foveon propune un dispozitiv foarte seducator, la care fiecare fotosit este format dintr-un substrat pe care sunt asezate trei straturi suprapuse de semiconductori, fiecare dopat special pentru a deveni sensibil la o anumita lungime de unda: primul strat (cel superficial) absoarbe si raspunde la lumina

albastra, al doilea la lumina verde iar al treilea la lumina rosie, sau cu alte cuvinte, fotositul arata cat de adanc patrund fotonii. In acest fel, este exploatata in intregime lumina incidenta, adica 100% din informatia pe culoarea verde, 100% pe culoarea rosie si 100% pe culoarea albastra, si nu 50 % din culoarea verde, 25% din culoarea rosie si 25% din culoarea albastra, ca in senzorii bazati pe matrice Bayer.



Producatorul pretinde ca Foveon x3 are o rezolutie de doua ori mai buna decat un captator CCD cu acelasi numar de fotosituri. Daca am desparti informatia transmisa de lumina incidenta in patru parti (nu neaparat egale): lumianta, crominanta rosu, crominanta verde si crominanta albastru, un fotosit CCD, cu filtru de tip Bayer exploateaza doar doua din cele patru parti, pe cand Foveon x3 le capteaza pe toate patru. Putind capta simultan cele trei culori de baza pe fiecare fotosit, Foveon x3 ofera o mai buna reproducere a culorilor, nu are nevoie circuitele de interpolare - obligatorii la captatoarele clasice -, si ofera performanta mai buna in reproducerea detaliilor colorate cu frecventa ridicata.
O stire de ultima ora: firma National Semiconductor, a achizitionat drepturile de folosire a sensorului Foveon X3, in scopul de a il introduce in... telefoanele mobile si PDA-uri.

Unde vom ajunge? Nu stim, nu stim bine nici macar directia...
Speram insa ca din lupta dintre producatori, va castiga cel mai bun si ca nu se va repeta isprava comisa in competitia VSH - Betacam - Video 2000.